

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vytvoření laboratorní úlohy pro měření přechodových jevů
Transient Phenomena Measure - Creating a Laboratory Exercise

2013

Andrej Foltýnek

Zadání bakalářské práce

Student:

Andrej Foltýnek

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Vytvoření laboratorní úlohy pro měření přechodových jevů
Transient Phenomena Measure - Creating a Laboratory Exercise

Zásady pro vypracování:

1. Přechodové jevy v elektroenergetice
2. Specifika a možnosti měření přechodových jevů
3. Měřicí přístroje pro měření přechodových jevů v elektroenergetice
4. Vytvoření zadání a vzorového protokolu pro měření přechodových jevů

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Moravec, M. Měření a zpracování informací. Skriptum. Praha: FEL ČVUT Praha, 1991. ISBN 8001004635, 9788001004630
- [2] Dreschler, R. Měření elektrické energie. Praha: SNTL Praha, 1966
- [3] Kocourek, P. a kol. Číslicové měřicí systémy. Praha: ČVUT Praha, 1994
- [4] Ďaďo, S., Sedláček, M. Měření aktivních elektrických veličin s neharmonickými průběhy. Praha: SNTL Praha 1987
- [5] ČSN IEC 816. Pokyny k metodám měření krátkodobých přechodových jevů na vedeních nízkého napětí a na signálních vedeních. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994. Třídící znak 33 3445

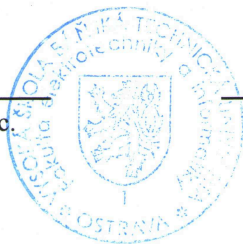
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Král, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že bakalársku prácu som vypracoval samostatne, a že som uviedol všetku použitú literatúru.

Dátum: 3. 5. 2013

.....
Falko

Pod'akovanie

Týmto chcem poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Vladimírovi Královi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a pomoc pri spracovaní zadanej témy.

Abstrakt

Bakalárska práca na tému „Vytvoření laboratorní úlohy pro měření přechodových dějů“ sa zaoberá prechodnými javmi v elektrických obvodoch, ich vznikom a možnosťami ich merania. V prvej časti práce sú popísané prechodné javy vo všeobecnosti, ako aj prechodné javy v elektrizačných sústavách. Je tu zahrnuté delenie týchto javov v elektrizačných sústavách a stručný popis vlastností jednotlivých kategórií. Nasledujúca časť sa zaoberá možnosťami merania prechodných javov. Sú tu opísané niektoré princípy merania a takisto aj porovnanie vybraných prístrojov umožňujúcich meranie, resp. záznam prechodných javov. Tieto kapitoly sú zamerané hlavne na prístroje PRYM a DEN, ktorými VŠB disponuje. Záverečná časť pozostáva zo samotnej laboratórnej úlohy, zobrazenia nameraných údajov a ich celkového zhodnotenia.

Kľúčové slová

prechodné javy, elektrizačná sústava, meranie prechodných javov, prístroj PRYM, prístroj DEN, laboratórna úloha,

Abstract

The bachelor thesis on the topic „Transient phenomena measure – creating a laboratory exercise“ is focused on the transient phenomena in electrical-circuits, especially on their occurrence and the possibilities of their measurement. In the first part of this work, there are described the transient phenomena in general as well as the transient phenomena in an electric grid. There is included the division of the phenomena and a brief description of their characteristics in different categories. The following part of the bachelor thesis concentrates on the possibilities of transient phenomena measurement. There are described some of the principles of measurement, the comparison of selected devices enabling the measurement or the recording of the transient phenomena. The chapters in this part focus on the the PRYM and DEN devices, which are owned by VŠB – Technical university in Ostrava. The final part of this work includes the laboratory exercise, the display of measured data and their summary.

Key words

transient phenomena, electric grid, transient phenomena measurement, device PRYM, device DEN, laboratory exercise

Obsah

Úvod.....	7
1 Prechodné javy	8
1.1 Počiatočné podmienky.....	8
1.2 Prechodné javy prvého a druhého rádu	8
2 Prechodné javy v elektrizačnej sústave	9
3 Meranie prechodných javov	11
3.1 Prevodníky využívajúce magnetické účinky elektrického prúdu	11
3.2 Hallove generátory	12
3.3 Špeciálne odporové bočníky.....	12
3.4 Osciloskop	13
4 Prístroje používané na meranie prechodných javov	15
4.1 Detektor napäťových impulzov DEN firmy EGU Brno.....	15
4.2 Prenosný rýchly monitor PRYM firmy EGÚ Brno	16
4.3 Zapisovač Sefram DAS40	18
4.4 Digitálny osciloskop LeCroy HDO 4024	19
4.5 Počítačové meracie karty	20
5 Porovnanie prístrojov vhodných na meranie prechodných javov	23
6 Charakteristika programu PRYM.....	25
7 Charakteristika programu DEN.....	27
8 Laboratórna úloha – meranie prechodných javov	28
Záver	34
Zoznam literatúry	35

Úvod

Prechodné javy vznikajú pri prechode elektrického obvodu z jedného ustáleného stavu do nového ustáleného stavu. K narušeniu ustáleného stavu môže dôjsť dôsledkom zmeny zaťaženia obvodu, pri poruchách a obecné pri každej zmene topológie obvodu. Prechodné javy sú súčasťou každého elektrického obvodu, a preto je dôležité poznať možnosti ich merania a záznamu. Keďže majú prechodné javy veľký vplyv na stabilitu elektrických obvodov, je potrebné venovať im pozornosť.

Cieľom tejto bakalárskej práce je zhrnúť všeobecné informácie o prechodných javoch, a zaoberať sa možnosťami ich merania. V prvých kapitolách tejto práce sú opísané prechodné deje z hľadiska ich rozdelenia, všeobecne a so zameraním na elektrizačnú sústavu. Nasledujúce kapitoly sa zaoberajú princípmi merania prechodných javov. Je tu uvedený prehľad vybraných prístrojov vhodných na meranie prechodných javov. Samostatné kapitoly sú venované prístrojom PRYM a DEN, na ktoré je táto práca zameraná. Ďalšou skupinou prístrojov sú zapisovače a pamäťové osciloskopy, napríklad zapisovač Sefram a osciloskop LeCroy. Poslednou skupinou sú meracie karty značky National Instruments a Tedia. V nasledujúcej kapitole sú tieto prístroje porovnávané v jednotlivých parametroch. Záverečné kapitoly teoretickej časti práce sú venované opisu programov slúžiacich na ovládanie prístrojov PRYM a DEN. V praktickej časti práce je navrhnutá laboratórna úloha pre prístroj PRYM, ktorej cieľom je zobrazit' priebeh prechodného javu na modeli vedenia VN.

1 Prechodné javy

Prechodné javy v elektrickom obvode sú javy, ktoré prebiehajú medzi dvoma ustálenými stavmi – stacionárnymi alebo periodickými. K prechodnému javu dochádza pri zmene topológie elektrického obvodu – pri pripojení, alebo odpojení zdroja, skrate časti obvodu atď. Prechodné javy sú procesy, pri ktorých sústava neperiodicky mení veľkosť akumulovanej energie. Táto energia definuje počiatočné podmienky stavových veličín obvodu.

1.1 Počiatočné podmienky

Počiatočné podmienky sa delia na fyzikálne a matematické. Fyzikálne počiatočné podmienky súvisia s akumulovanou energiou v induktoroch a kapacitoroch obvodu. Táto energia sa vždy mení spojitě. Pre nespojitú zmenu energie by musel byť okamžitý výkon v bode nespojitosti nekonečne veľký [11]. Stavovou veličinou induktora je elektrický prúd a stavovou veličinou kapacitoru je elektrické napätie. Elektrický prúd aj elektrické napätie musia byť tiež spojitě. Matematické počiatočné podmienky sa určujú z fyzikálnych počiatočných podmienok. Sú to počiatočné podmienky riešenia sústavy diferenciálnych rovníc *“popisujúcich chovanie obvodu v prechodovom deji”* [2]. Riešenie sústavy diferenciálnych rovníc vedie k nekonečnému trvaniu prechodného javu. Prechodný jav považujeme za ukončený pre časy väčšie ako 5τ , kde τ je časová konštanta obvodu [1].

1.2 Prechodné javy prvého a druhého rádu

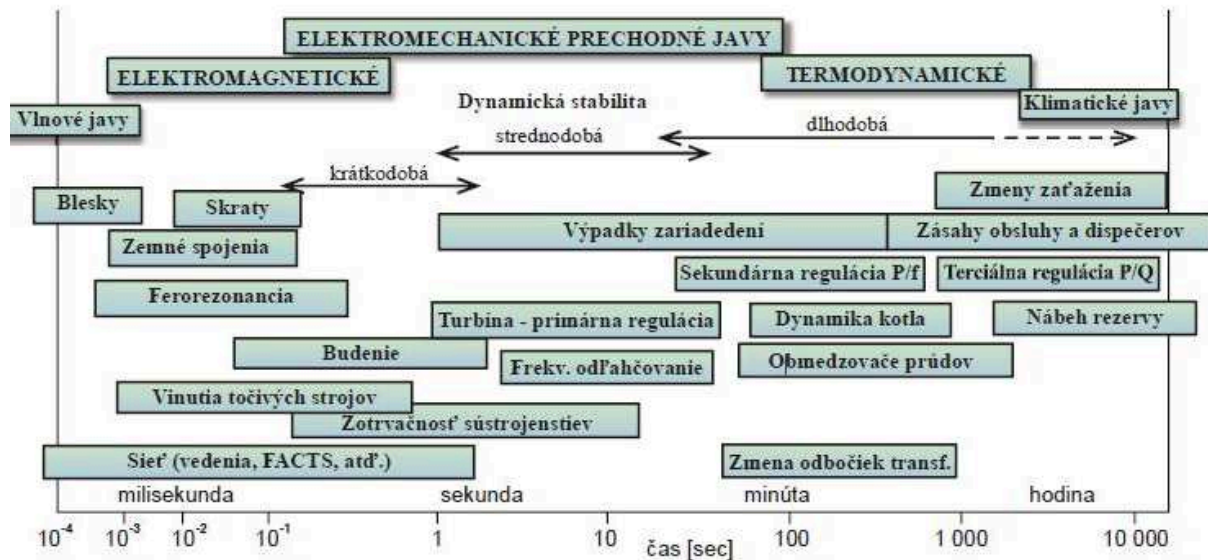
Prechodné javy 1. rádu sa vyskytujú v obvodoch s jedným prvkom (induktorom alebo kapacitorom), ktorý je schopný akumulovať energiu. Takéto obvody sa popisujú diferenciálnou rovnicou 1. rádu. Riešením diferenciálnej rovnice 1. rádu je exponenciálna, monotónna funkcia, ktorej dôležitým parametrom je časová konštanta τ . Pri zmene stavu obvodu sa *“kapacitor chová ako ekvivalentný zdroj napätia a induktor ako ekvivalentný zdroj prúdu”* [2].

Prechodné javy 2. rádu sa vyskytujú v obvodoch obsahujúcich induktory aj kapacitory súčasne. Označujú sa ako RCL obvody a riešia sa diferenciálnou rovnicou 2. rádu. Dôležitými parametrami RCL obvodu sú činiteľ útlmu α a rezonančný uhlový kmitočet ω_0 . Pri rovnosti týchto parametrov je riešením charakteristickej rovnice dvojnásobný reálny koreň a trvanie prechodného javu je najkratšie. Toto riešenie je medzným prípadom medzi aperiodickým a kváziperiodickým riešením [2].

2 Prechodné javy v elektrizačnej sústave

V základnom prevádzkovom stave má každá elektrizačná sústava prevádzkové parametre (elektrické aj mechanické) v rovnovážnom ustálenom stave. Akákoľvek zmena týchto prevádzkových parametrov naruší ustálený chod, teda rovnovážny stav, čo má za následok vznik prechodného javu. Prechodné javy môžeme chápať ako časovú zmenu, pri ktorej dochádza k zmene určitého množstva energie viazaného k danému elektrickému alebo elektromechanickému obvodu na inú formu energie. Z tohto dôvodu sa nemôžu tieto deje uskutočniť skokom, ale prebiehajú podľa určitých fyzikálnych zákonov, a preto ich môžeme rozdeliť do troch skupín:

- vlnové,
- elektromagnetické,
- elektromechanické.



Obr. 2-1 Klasifikácia prechodných javov [3].

Vlnové prechodné javy trvajú rádovo niekoľko mikrosekúnd až milisekúnd. Takáto sústava sa skúma z pohľadu vlnových vlastností. Skúmajú sa časové a priestorové deje súčasne na rozložených elektrických parametroch, zatiaľ čo pomalé zmeny nemajú veľký vplyv [3].

Elektromagnetické prechodné javy sú spôsobené napríklad skratmi, zemnými spojeniami, vznikom miestnej prúdovej a napäťovej asymetrie. Trvajú rádovo od 0,1 - 5 sekúnd [4]. Vzhľadom na to, že rýchlosť časových zmien je menšia, môže sa pri týchto javoch zanedbať rýchlosť šírenia elektromagnetických vln na jednotlivých prvkoch elektrizačnej sústavy. Silnoprúdové zariadenia tejto sústavy je možné skúmať so sústredenými elektrickými parametrami. Elektrizačnú sústavu môžeme

chápať ako výhradne elektrický systém, ktorý neovplyvňujú mechanické vlastnosti prvkov, a preto je možné zanedbať zmeny otáčok točiacich sa elektrických strojov[3]. Najčastejšou príčinou vzniku prechodných javov sú práve skraty. Výrazné zníženie impedancie skratového obvodu má za následok prechod niekoľkonásobne väčšieho prúdu v obvode vzhľadom k menovitým hodnotám. V ideálnom obvode by skrat spôsobil prechod nekonečne veľkého prúdu. V reálnej sústave však vnútorná impedancia generátorov, transformátorov, vedení spôsobí konečnú veľkosť skratového prúdu [5].

Elektromechanické prechodné javy trvajú rádovo od desiatín sekundy až po niekoľko desiatok sekúnd. Pri riešení týchto javov môžeme zanedbať šírenie elektromagnetických vln v jednotlivých prvkoch elektrizačnej sústavy a vo väčšine prípadov aj ich elektromagnetickú zotrvačnosť. Elektromechanické prechodné javy sú typické napríklad pre mechanický pohyb rotorov generátorov. Mechanické sily pôsobiace na hriadele spolupracujúcich generátorov sa navzájom prenášajú a väzbami tvorenými jednotlivými prvkami elektrického zapojenia elektrizačnej sústavy. Z tohto dôvodu pri riešení týchto javov sa berú do úvahy mechanické zotrvačné vlastnosti elektrických točivých strojov a elektrickej väzby medzi jednotlivými prvkami, ktoré sú dané prevádzkovou schémou zapojenia [3]. Pri skúmaní elektromechanických prechodných javov sa predovšetkým zisťuje, či je sústava stabilná alebo nestabilná. Sústavu možno považovať za stabilnú, ak dokáže obnoviť pôvodný rovnovážny stav, alebo sama zaujať nový rovnovážny stav pri zmene jedného či viacerých prevádzkových parametrov [4].

3 Meranie prechodných javov

Dôležitým parametrom pri meraní prechodných javov je doba nábehu t_n . Je to čas potrebný pre zmenu nábežnej hrany impulzu z hodnoty 0,1 na hodnotu 0,9 amplitúdy impulzu. Tento parameter sa používa tiež pri meraní rýchlosti odozvy rôznych meracích zariadení, napríklad pri osciloskopoch. Často sa určuje z odozvy na skokový vstupný signál, tzv. jednotkový skok. Na meranie krátkych prúdových impulzov je možné použiť prevodníky využívajúce magnetické účinky elektrického prúdu, hallové generátory a špeciálne odporové bočníky. K zobrazeniu priebehu sa najčastejšie používa osciloskop.

3.1 Prevodníky využívajúce magnetické účinky elektrického prúdu

Medzi prevodníky využívajúce magnetické účinky prúdu patria:

- prúdové sondy,
- prstenec Rogowského,
- meracie transformátory.

Prúdové sondy musia byť navrhnuté tak, aby indukčnosť snímačej cievky bola najmenšia a zaťažovací odpor maximálny. Prúdová sonda pracuje takmer naprázdno v režime prúd-napäť. K získaniu hľadaného priebehu prúdu je nutné použiť integračný člen. Veľkou nevýhodou prúdových sond je nutnosť ciachovania po každej zmene polohy. Ďalším nepriaznivým javom je prenikanie magnetických polí z druhých zdrojov do plochy slučky. Uvedené nedostatky sa dajú podstatne obmedziť prstencovým usporiadaním prúdovej sondy, čo využíva prstenec Rogowského. Výstupné napätie na prázdno je priamo úmerné derivácii meraného prúdu, takže je tiež potrebné použiť integračný člen. Aby sa uplatnil iba prúd prechádzajúci plochou prstenca, musí byť vinutie prstenca rovnomerné a musia byť dodržané ďalšie podmienky. Nakoľko vzájomná indukčnosť je daná iba geometrickými parametrami a počtom závitov, je ciachovanie podstatne jednoduchšie než u bežnej prúdovej sondy.

Nevýhodou prstenca Rogowského pri meraní krátkych impulzov prúdu je väčšia indukčnosť L_2 , takže je náročnejšie dodržanie podmienky chodu na prázdno ($\omega L_2 \ll R_2$). Predlžuje sa tak doba nábehu výstupného impulzu. Zmenšením plochy uzavretej prstencom na hodnoty približne 130mm^2 je možné dosiahnuť približne rovnakú dobu nábehu ako pri použití viacerých závitov s priemerom 6mm^2 . Meranie veľkých prúdových impulzov (kiloampér, megaampér) si však kvôli väčším rozmerom vodičov vyžaduje zväčšenie priemeru prstenca, čím môže dôjsť k podstatnému predĺženiu doby nábehu výstupného impulzu. Meracie transformátory určené pre meranie impulzných prúdov sa líšia

od prúdových sond hlavne použitím feromagnetického obvodu. Výhodou prúdových transformátorov je hlavne pomerne jednoduché ciachovanie generátorom impulzov zaťaženým bezinduktívnym rezistorom. Ciachovaný transformátor meria prúd prechádzajúci záťažou a napätie na záťaži sa určuje osciloskopom.

3.2 Hallove generátory

Za idealizovaný Hallov generátor môžeme považovať veľmi tenkú a dlhú (teoreticky nekonečne dlhú) Halovú polovodičovú doštičku obdĺžnikového tvaru s bodovými Halovými kontaktmi. Ak generátor nie je vystavený magnetickému poľu, vstupný prúd je smerovaný pozdĺžne s elektrickým poľom, ktoré je spôsobené rozdielom potenciálov prúdových elektród nachádzajúcich sa na koncoch generátora. Keď je Hallov generátor vystavený magnetickému poľu, nosiče náboja (elektróny a diery) budú odchýlené do strán, ale len po určitý čas. Akonáhle sa elektrické pole spôsobené koncentráciou nábojov vyrovná Lorentzovej sile, nastane stav rovnováhy a nosiče náboja sa opäť budú pohybovať v pozdĺžnom smere [6]. Výhodou Hallovho generátoru je, že nedochádza k strate výkonu v meranom obvode, neovplyvňuje meraný obvod a je galvanicky oddelený.

3.3 Špeciálne odporové bočníky

Špeciálne odporové bočníky určené pre meranie prúdu, veľkej amplitúdy a strmosti musia spĺňať tri základné podmienky [7]:

1. reálna časť impedancie bočníku meraná medzi jeho vývodmi musí byť konštantná v čo najširšom frekvenčnom rozsahu,
2. vzájomná indukčnosť prúdového obvodu a potencionálneho obvodu bočníku musí byť minimálna,
3. bočník musí umožniť uzemnenie plášťa koaxiálneho kábla priamo na bočníku alebo v jeho blízkosti.

Na dosiahnutie konštantného odporu bočníku v širokom frekvenčnom rozsahu je potrebné obmedziť vplyv povrchového javu a indukčnosti bočníku. Tento vplyv sa potlačuje použitím tenkých fólií odporového materiálu, alebo umiestnením vývodov bočníku excentricky. Minimalizácia vzájomnej indukčnosti sa dosahuje umiestnením potenciálových vývodov v osi symetrie a použitím koaxiálneho kábla pre prívod k osciloskopu, prípadne použitím kompenzačnej vetvy.

3.4 Osciloskop

Osciloskop najčastejšie slúži k zobrazeniu časového priebehu napätia na tienidle obrazovky. Univerzálne laboratórne osciloskopy majú najväčšiu citlivosť rádu milivoltov na dielik. Pri citlivosti 5 milivoltov na dielik spôsobí vstupné napätie 5 mV vertikálnu výchylku lúča o jeden dielik rastra. Zvyčajne jeden dielik zodpovedá 1 cm. Pre zobrazenie rázových vln vysokého napätia je citlivosť týchto osciloskopov zbytočne veľká a používajú sa špeciálne impulzové osciloskopy. Tieto osciloskopy nemajú vertikálny zosilňovač ani oneskorovaciu linku a vstupný signál sa privádza priamo alebo cez vstavaný napäťový delič na vychyľovacie doštičky obrazovky. Citlivosť osciloskopu je rádovo 10 až 100 V/cm, takže osciloskop je potom menej citlivý na rušivé napätie oproti bežným osciloskopom. Pomocou popísaných osciloskopov je možné registrovať jednorazové merané priebehy iba fotograficky, pretože oko nestačí zachytiť ich tvar pri dĺžkach impulzu rádu mikrosekúnd [7].

Pamäťový osciloskop umožňuje okamžité vyhodnotenie záznamu i spracovanie záznamu počítačom. Pamäťové osciloskopy sa delia na analógové a číslicové. Analógové pamäťové osciloskopy používajú k zapamätaniu priebehu špeciálnu pamäťovú obrazovku. Číslicové pamäťové osciloskopy odoberú z meraného priebehu vzorky, ktoré prevedú na číselné hodnoty a uložia ich do pamäte, odkiaľ ich je možné opakovane vyberať a zobrazovať na obrazovke. Adresy buniek pamäte odpovedajú okamžikom vzorkovania a udávajú horizontálne súradnice bodov.

Obdobným prístrojom, ktorý má zvyčajne väčšiu kapacitu pamäte, ale neobsahuje obrazovku, je číslicová pamäť prechodových javov. Od analógových osciloskopov sa líšia nasledovne: najvyššia uložená frekvencia nezávisí na amplitúde, obraz je možné na pripojenej obrazovke zobrazovať ľubovoľne dlhú dobu (na analógových osciloskopoch obraz postupne mizne), šírka frekvenčného pásma je premenlivá (závisí na nastavení vzorkovacej frekvencie), pri prekročení hornej medznej frekvencie prístroja môže dôjsť k zobrazeniu falošných signálov (tzv. aliasing). Číslicová pamäť umožňuje zobrazenie priebehu aj pred príchodom spúšťačieho impulzu. Pamäť je totiž kontinuálne zapĺňaná odoberanými vzorkami a po naplnení sa vždy s príchodom ďalšej vzorky najdlhšie uložená vzorka stratí. Po príchode spúšťačieho impulzu sa plnenie pamäte môže zastaviť a celý obsah pamäte zachycuje priebeh pred príchodom spúšťačieho impulzu. Takto je možné v mnohých aplikáciách dodatočne skúmať, čo bolo napríklad pôvodnou príčinou výpadku určitého zariadenia [7].

Vertikálna rozlišovacia schopnosť je daná počtom bitov použitého A/D prevodníka. Horizontálna rozlišovacia schopnosť je daná kapacitou pamäte. Chyba zobrazenia závisí tiež na časovom posuve vzorkovaného signálu vzhľadom k vzorkovaciemu signálu. Použitá šírka pásma závisí na typu rekonštrukcie analógového signálu zo vzoriek. Pri normálnom režime, keď je výstupný signál tvorený skupinou bodov, je potrebné pre znázornenie harmonického signálu asi 25 bodov za

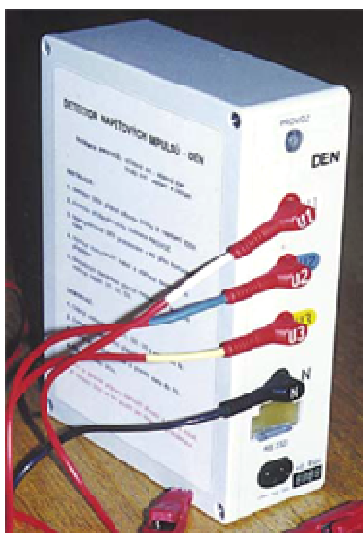
periódu – použiteľná šírka pásma je $1/25$ vzorkovacej frekvencie. Pri často používanej lineárnej interpolácii stačí približne 10 bodov za periódu. Niektoré prístroje sú vybavené dvoma časovými základňami, ktoré umožňujú podrobnejší záznam vybranej časti priebehu.

4 Prístroje používané na meranie prechodných javov

4.1 Detektor napät'ových impulzov DEN firmy EGU Brno

Popis prístroja

Detektor napät'ových impulzov DEN je trojkanálový merací prístroj určený na meranie napät'ových impulzov v sieťach nn a v meracích obvodoch vn a vvn. DEN je určený na dlhodobé merania s polročným, alebo ročným odpočtom dát. Taktiež ho je možné použiť aj pre krátkodobé merania. Prístroj je vybavený vlastným, na napájacom napätí nezávislým časovým signálom. Detektor nemá žiadne ovládacie prvky, ovláda sa pomocou počítača cez sériové rozhranie [8].



Obr. 4-1 DEN [8].

Princíp funkcie

Na všetkých troch napät'ových vstupoch sa nachádzajú kompenzované RC deliče, prevodníky absolútnych hodnôt a analógové pamäte s vybíjacími obvodmi. Pri vzniku napät'ového impulzu dlhšieho ako 15 μ s na niektorom z napät'ových vstupov, bude tento impulz zaznamenaný analógovou pamäťou. Napätie z tejto pamäte je každých 1,25ms zaznamenané a pamäť znulovaná. Ak počas tejto doby dôjde k viacerým napät'ovým impulzom, pamäť zaznamená najväčší z nich. Z nameraných hodnôt za jednu sekundu je určená najväčšia hodnota. Uvedené hodnoty sa porovnávajú s detekčnými hranicami jednotlivých kanálov. Ak prekročí hodnota zmeraného impulzu na niektorom zo vstupov detekčnú hranicu, do nedeštruktívnej na napätí nezávislej pamäti sa zaznamená dátum, čas a hodnota každého meraného kanála. Detekčné hranice môžu byť nastavené na rôznu úroveň a nastavujú sa cez sériové rozhranie pred začatím merania.

V ďalšom meracom móde dokáže DEN počítať úseky 1,25ms, v ktorých sa v priebehu 1s vyskytol napäťový impulz. Ak vznikne napäťový impulz v priebehu nulovania analógovej pamäte, môže sa stať, že nebude zaznamenaný vôbec, alebo s veľkou chybou. S určitosťou je preto možné zaznamenať impulzy dlhšie ako 20 μ s a s pravdepodobnosťou 98,5% impulz dlhší ako 5 μ s. V treťom meracom móde, pri jednofázovom meraní a privedení meraného napätia paralelne na všetky tri vstupy je možné zaznamenať všetky impulzy dlhšie ako 5 μ s. Keďže je merací prístroj DEN určený na dlhodobé merania, je možné ho naprogramovať aj na zaznamenanie výpadkov napájacieho napätia. Aj v tomto prípade zaznamená dátum a presný čas s rozlíšením 1s. Údaj o konci výpadku neobsahuje údaj o mesiaci, pretože sa nepredpokladá výpadok napätia dlhší ako 1 mesiac.

4.2 Prenosný rýchly monitor PRYM firmy EGÚ Brno

Popis prístroja

Prenosný rýchly monitor PRYM je navrhnutý pre meranie a záznam prechodových javov a poruchových udalostí striedavých napätí a prúdov trojfázových sietí nn, vn vvn (EGÚ). Zmenou nastavenia – znížením vzorkovacej frekvencie je možné ho použiť aj na dlhšie merania ustálených veličín a pomaly sa meniacich premenných javov. Realizované spôsoby spúšťania záznamu umožňujú použitie monitora PRYM pri jednorazových experimentoch, ale aj pri dlhodobých sledovaniach náhodných udalostí. Je možné tiež zaznamenať zvolený úsek pred vznikom udalostí. V priebehu jedného merania je možné zaznamenať priebeh až štyroch zhodne, prípadne rozdielne definovaných udalostí. Pre každú udalosť môže byť vyhradené miesto v pamäti, pričom monitor zaznamená hodnoty pred a po prvej udalosti a následne po splnení naprogramovaných podmienok druhej udalosti začne zapisovať do druhej časti pamäte. Kapacita dátovej pamäte je 32kB alebo 128kB pre každú udalosť, spolu teda 128kB alebo 512kB. Počet definovaných vzoriek po udalosti je obmedzený na 60 000. Maximálna vzorkovacia frekvencia je 7,2kHz pri jednofázovom meraní a 2,4kHz pri trojfázovom meraní. Monitor PRYM je vybavený vlastnými na externom napájaní nezávislými hodinami, takže umožňuje zaznamenanie prerušenia merania v dôsledku výpadku elektrickej energie [9].

Princíp činnosti

Monitor PRYM po pripojení skontroluje funkciu vnútorných obvodov. Po úspešnej kontrole začne indikácia PROVOZ opakovať jeden impulz. Naprogramovanie monitoru PRYM prebieha cez počítač komunikačným káblom a rozhraním RS232c a je potvrdené opakovaním dvojice impulzov. Je možné naprogramovať 4 druhy spustenia merania:

1. okamžite,
2. po zadanom čase,
3. po kombinácii externých signálov A a B,

4. od kombinácie externých signálov A a B po zadanom čase.

Čas zahájenia merania je udávaný s rozlíšením 1 sekundy. Meranie monitoru PRYM je signalizované trvalým svietením indikácie PROVOZ. Pri meraní sú prakticky súčasne vzorkované napäťový aj prúdový vstup zhodnej dvojice vstupov. Pri meraní veličín viacerých vstupov sa jednotlivé dvojice merajú postupne, čím sa zníži rýchlosť merania a počet vzoriek jednej dvojice vstupov za periódu. Menovité hodnoty kliešťových prúdových transformátorov aj menovité hodnoty napätia je možné meniť vo veľkom rozsahu. To umožňuje zníženie počtu bitov pre záznam jednej hodnoty. V monitoru PRYM je to 8 bitov. Namerané dáta sú ukladané do kruhovo orientovanej pamäte vyhradenej pre prvú udalosť. Pri zaplnení pamäťového priestoru prepisujú postupne nové údaje staré. V okamihu výskytu vstupným programom definovanej prvej udalosti odmerá monitor PRYM definovaný počet „vzoriek po“ udalosti a ukončí záznam v tomto pamäťovom priestore. Meranie je pozastavené a prístroj čaká na splnenie podmienky druhej udalosti. Po jej splnení monitor opäť pokračuje v meraní, dáta sú zapisované do kruhovo orientovanej časti pamäte vyhradenej pre druhú udalosť. Takýmto spôsobom prístroj funguje aj pri ďalších dvoch udalostiach.

Monitor umožňuje zápis až 20 výpadkov napájania dlhších ako 1 sekunda. Za výpadok napájania je považovaný pokles napájacieho napätia pod 175 V v dobe od zahájenia merania prvej udalosti až do okamihu ukončenia záznamu poslednej udalosti. V priebehu výpadku napájania prístroj nemeria. Ak nastane výpadok v priebehu záznamu údajov po udalosti, tak po obnovení napájania monitor začne merať nasledujúcu udalosť.



Obr. 4-2 PRYM [9].

4.3 Zapisovač Sefram DAS40

Spoločnosť TR instruments poskytuje nasledujúce údaje o tomto prístroji:

Popis prístroja

Zapisovač DA40 je programovateľný, prenosný zapisovač pracujúci v reálnom čase. Môže pracovať v režime jednofázového alebo trojfázového analyzátoru elektrickej siete so záznamom údajov na flashdisk. Prístroj je vybavený štyrmi galvanicky oddelenými vstupmi, ktoré je možné použiť pre záznam napätia, prúdu, teploty a tiež logickými kanálmi pre záznam digitálnych priebehov. Vstupné A/D prevodníky pracujú s 14-bitovým rozlíšením, vzorkovanie do vnútornej pamäte s kapacitou 32MB prebieha s periódou 1 μ s. Každý kanál ma vlastný A/D prevodník, nejde teda o multiplexované vstupy s jedným spoločným A/D prevodníkom pre všetky kanály. Zapisovač obsahuje vnútorný pevný disk s kapacitou 8GB, na ktorý je možné ukladať vzorkované dáta maximálnou rýchlosťou 100Ksa/s [10].



Obr. 4-3 Sefram DAS40 [10].

Režim prevádzky

Záznam dát môže prebiehať v niekoľkých režimoch. V režime online sú dáta tlačené priamo na termopapier. Tento režim je vhodný predovšetkým na záznam dlhotrvajúcich pomalých dejov. V pamäťovom režime, vďaka priamemu ukladaniu do vnútornej pamäte, je možné zapisovač použiť pre záznam krátkodobých prechodových javov. V súborovom režime sú dáta ukladané na vnútorný pevný disk, alebo na externý USB flashdisk. Zapisovač v tomto režime umožňuje dlhodobý záznam rýchlych dejov a dĺžka záznamu je obmedzená iba kapacitou zvoleného média. V ďalšom režime „Go-NoGo“ je možné dáta zaznamenávať v určitých časových intervaloch, používa sa najmä pri neopakujúcich sa priebehoch alebo udalostiach. Priebežne je zobrazovaný osciloskopický náhľad priebehu signálu a zastúpenie jednotlivých frekvencií u harmonickej analýzy.

Ovládanie prístroja

Ovládanie prístroja je uľahčené zobrazovaním príkazov na širokouhlom 7" LCD displeji. Voliteľné parametre je možné ovládať pomocou klávesnice a dotykového ovládača na prednej strane prístroja, ale aj myšou alebo klávesnicou pripojenou cez USB rozhranie. Prístroj je taktiež možné ovládať a programovať cez rozhranie Ethernet.

4.4 Digitálny osciloskop LeCroy HDO 4024

Výhradný zástupca značky LeCroy pre Slovensko a Českú republiku spoločnosť Blue Panther Instruments poskytuje na svojich webových stránkach nasledujúce informácie o tomto osciloskope:

Popis prístroja

Digitálny 4-kanálový osciloskop LeCroy rady HDO 4000 sa vyznačuje vysokým rozlíšením vďaka 12 bitovému rozlíšeniu A/D prevodníkov a vysokou vzorkovacou frekvenciou a aj nízkošumovými zosilňovačmi na vstupoch. Vďaka týmto technológiám dokáže osciloskop zachytiť a zobraziť signály až do frekvencie 1GHz s vysokou vzorkovacou rýchlosťou a až 16-krát vyšším rozlíšením než u ostatných osciloskopov. V porovnaní s 8 bitovými osciloskopmi sú zmerané časové priebehy hladšie a čistejšie. Dôležité detaily signálu sú lepšie viditeľné a vďaka funkcii zoom sa dajú ešte presnejšie zobraziť na obrazovke osciloskopu. Rýchlosť vzorkovania (real-time) je 2,5 GSa/s a rýchlosť vzorkovania „RIS“ (periodické signály) je 125 GSa/s. Osciloskop je vybavený 12,1" dotykovým LCD displejom, 6 portami USB, 2-krát Ethernet (RJ-45) a voliteľným rozhraním IEEE - 488.2. Externý monitor môže byť pripojený cez štandardný SVGA kompatibilný DB-15 konektor, DVI alebo HDMI konektor[11].



Obr. 4-4 LeCroy HDO 4024 [11].

Ovládanie prístroja a režimy prevádzky

Na ovládanie osciloskopu je možné použiť okrem klasických otočných ovládačov a tlačidiel aj rozšírené možnosti dotykovej obrazovky, alebo myš. Režim histórie, pomocou ktorého sa analyzujú a izolujú zamerané anomálie signálu, je aktivovaný stlačením jedného tlačidla. V sekvenčnom režime je pamäť osciloskopu rozdelená na užívateľom definovaný počet rovnako veľkých segmentov. Pri každom splnení spúšťacej podmienky sa potom vždy zaplní jeden segment, čo môže byť využité napríklad pri meraní prechodných javov. V tomto režime je každému segmentu pridelené jedno časové razítko a neaktívny medzisegmentový čas môže byť kratší ako 1 μ s. Kombinácia sekvenčného režimu s pokročilými možnosťami spúšťania je vhodná k izolovaniu málo sa vyskytujúcich anomálií v dlhšom čase a ich následnej analýze. Funkcia WaveScan slúži k hľadaniu špecifických udalostí definovaných viac než 20 rôznymi kritériami v zameranom priebehu signálu. Špecifickú udalosť je možné hľadať v jednom konkrétnom segmente pamäte alebo cez viac segmentov, a to po dobu niekoľkých hodín či dokonca dní.

4.5 Počítačové meracie karty

Existuje niekoľko počítačových meracích kariet, ktoré umožňujú meranie prechodných javov. Najznámejšie meracie karty sú od spoločnosti National Instruments (USA). Patria tu napríklad NI PXI-6123, NI SCXI-1125, NI SCXI-1327. Počítačové meracie karty vhodné na meranie prechodných javov vyrába aj česká spoločnosť TEDIA – napríklad karty PCA-7428CS a PCA-7408AS.

NI PXI-6123

Táto karta je 8-kanálová, každý z kanálov je osadený 16-bitovým A/D prevodníkom, ktorý umožňuje karte veľké rozlíšenie. Maximálna vzorkovacia frekvencia je 500 kS/s. Maximálne napätie na vstupe karty je 10V. Použitím vhodných kariet, napríklad NI SCXI-1125, SCXI-1313 a ďalších, je možné merať aj väčšie napätia. Súčasťou karty je pamäť typu SDRAM, ktorá napomáha efektívnemu zberu dát a má kapacitu 64 MB. Presnosť karty je pri maximálnom napäťovom rozsahu 4960 μ V a pri minimálnom rozsahu 740 μ V. Citlivosť karty je pri maximálnom napäťovom rozsahu 132 μ V a pri minimálnom rozsahu 24 μ V. Karta je tiež vybavená 8 digitálnymi vstupmi o maximálnej frekvencii 10MHz. Vstupy pracujú s logickými úrovňami TTL, vstupné aj výstupné napätie je teda v rozsahu 0V – 5V. Karta je tiež osadená 2 čítačmi s maximálnou frekvenciou 20MHz a rozlíšením 24 bitov [12].



Obr. 4-5 NI PXI-6123 [12].

NI SCXI-1125

V porovnaní s predchádzajúcou meracou kartou je táto karta tiež 8-kanálová, ale hlavný rozdiel spočíva v tom, že slúži na napäťové prispôsobenie meraného signálu, ktorý je následne privedený na vstup meracej karty NI PXI-6123. Je možné u karty naprogramovaním meniť rozsah jednotlivých vstupných kanálov, a to od $\pm 2,5\text{mV}$ do $\pm 5\text{V}$. Maximálne vstupné napätie je pri použití modulu SCXI-1313 od -300V až 300V . S použitím modulu TBX-1316 sa môže vstupné napätie zvýšiť až na $\pm 1000\text{VDC}$. Ďalším rozdielom je vzorkovacia frekvencia, ktorá je u tejto karty menšia, a to 333kS/s . Každý vstup je navyše vybavený programovateľným frekvenčným filtrom v rozsahu od 4Hz do 10kHz . Vstupná impedancia jednotlivých kanálov je 1 Gohm . Karta umožňuje zapisovanie údajov z jednotlivých kanálov v náhodnom alebo naprogramovanom poradí [13].



Obr. 4-6 NI SCXI-1125 [13].

TEDIA PCA-7428CS

Karta obsahuje 8 analógových vstupov s možnosťou rozšírenia na 32 pomocou externého multiplexoru. A/D prevodník tejto karty má 14 bitov a je spoločný pre všetkých 8 kanálov. Analógové vstupy dopĺňujú dva analógové výstupy, dva čítače a digitálne vstupy a výstupy. Karty rady PCA-7428C využívajú pre I/O signály rozhranie unifikované pre všetky DAQ PCI karty TEDIA a je tak pre ne dostupná rada dcérskych dosiek izolovaných vstupov, výkonových vstupov a analógových multiplexorov. Maximálny vstupný rozsah je $\pm 10V$, pričom karta je odolná proti prepätiu $\pm 24V$ trvalo a $\pm 50V$ po dobu maximálne 10ms. Maximálna vzorkovacia frekvencia je 100kHz. Karta je vybavená pamäťou pracujúcou v režime FIFO (First in First out) o veľkosti 32 kB [14].



Obr. 4-7 TEDIA PCA-7428CS [14].

TEDIA PCA-7408AS

V porovnaní s kartou TEDIA PCA-7428CS má táto karta menšiu vzorkovaciu frekvenciu, ktorá je maximálne 10kHz. Taktiež má menšiu pamäť RAM - a to 256 B. Ďalším rozdielom je maximálna vstupná frekvencia dvoch 16-bitových čítačov, ktorá je 500kHz, zatiaľ čo novšia rada kariet má 10MHz. Karta sa pripája do počítača zbernicou typu PCI 32 bitov so signálovou úrovňou +5V, novšia rada kariet TEDIA môže byť pripojená do všetkých typov PCI zberníc (32 aj 64 bitov) [15].



Obr. 4-8 TEDIA PCA-7408AS [15].

5 Porovnanie prístrojov vhodných na meranie prechodných javov

Jednotlivé meracie prístroje zmienené v predchádzajúcej kapitole sa od seba veľmi odlišujú, a preto je zložité ich navzájom porovnávať. Medzi hlavné kritériá použité pri nasledovnom porovnávaní patria:

- počet vstupných kanálov,
- vzorkovacia frekvencia,
- rozlíšenie A/D prevodníkov,
- cena prístrojov,
- možnosti ďalšieho spracovania nameraných údajov.

Tieto údaje sú uvedené v nasledujúcich dvoch tabuľkách:

Tab. 1 Porovnanie meracích prístrojov

Druh meracieho prístroja	DEN	PRYM	Sefram DAS40	LeCroy HDO4024
Počet vstupných kanálov	3	6	4	4
Vzorkovacia frekvencia	neuvedené	2,4kHz	1MHz	2,5GHz
Rozlíšenie A/D prevodníkov	neuvedené	7+znamienko	14	12
Kapacita pamäte	32kB	128kB	32MB (+8GB HDD)	75MB
Vstupný odpor	500k Ω	100k Ω	1M Ω	1M Ω
Max vstupné napätie	voliteľné	$\pm 230V$	$\pm 500V$	$\pm 400V$
Cena	neuvedené	65 000 Kč	62 832 Kč	242 684 Kč

Tab. 2 Porovnanie meracích kariet

Názov meracej karty	NI PXI-6123	TEDIA PCA-7428CS	TEDIA PCA-7408AS
Počet vstupných kanálov	8	8	8
Vzorkovacia frekvencia	500kHz	100kHz	10kHz
Rozlíšenie A/D prevodníkov	16	14	14
Kapacita pamäte	64MB	32kB	256B
Max vstupné napätie	$\pm 10V$	$\pm 10V$	$\pm 10V$
Cena	74 900 Kč	7 600 Kč	7 300 Kč

Keďže v prenosovej a takisto aj v distribučnej sústave dochádza k vzniku prechodných javov nielen v jednej fáze, je potrebné sledovať stav všetkých troch fáz. Z tohto dôvodu by mal mať merací prístroj minimálne 3 kanály. Výhodou je, ak má prístroj 6 kanálov, pretože to umožňuje meranie napätia a zároveň aj prúdu pre každú fázu. Z prístrojov vhodných na meranie prechodných javov majú

najväčší počet vstupných kanálov meracie karty - 8 (tab. 2), prístroj PRYM disponuje 6 kanálmi a ostatné prístroje maximálne 4 (tab. 1).

Ďalším dôležitým kritériom prístroja je vzorkovacia frekvencia. Správne navzorkovanie meraného signálu vyžaduje dodržanie Shannon-kotelnikovho teorému, čiže vzorkovacia frekvencia musí byť minimálne 2-násobkom frekvencie najvyššej harmonickej meraného signálu. Keďže sa prechodné javy prejavujú výrazne už v prvej harmonickej, nie je potrebné zaznamenávať všetky vyššie harmonické. Z tohto dôvodu nemusí byť vzorkovacia frekvencia veľmi vysoká, postačuje rádovo niekoľko kHz. Z uvedených prístrojov má najnižšiu vzorkovaciu frekvenciu prístroj PRYM – 2,4 kHz pri trojfázovom meraní, čo umožňuje snímanie až 24 harmonickej základnej sieťovej frekvencie 50 Hz. Táto vzorkovacia frekvencia je teda dostačujúca pre meranie prechodných javov. V porovnaní s PRYMom, pri osciloskope Le Croy výrobca uvádza vzorkovaciu frekvenciu až 2,5 GHz, čo je viac ako 1000-násobok vzorkovacej frekvencie PRYMu. Avšak pre meranie prechodných javov je takto vysoká vzorkovacia frekvencia zbytočná.

Rozlíšenie A/D prevodníku je ďalším dôležitým parametrom, ktoré má vplyv na chybu kvantovania – „jedná sa o najmenšiu možnú zmenu výstupnej veličiny vyvolanú zmenou vstupného čísla medzi dvoma susednými hodnotami a vzťahujúcu sa k plnému rozsahu vyjadrenému najväčšou možnou hodnotou vstupného čísla [16]. Okrem prístroja DEN, majú všetky ostatné prístroje minimálne 10-bitové A/D prevodníky. To predstavuje 1024 úrovní pre kvantovanie, čo je postačujúce pre meranie prechodných javov. U prístroja DEN výrobca neudáva rozlíšenie A/D prevodníkov.

Pri výbere meracieho prístroja je takisto dôležité jeho vybavenie a funkcie. Výhodou sú funkcie pre analýzu nameraných signálov, napríklad FFT, PeakSearch - vyhľadanie špičiek v nameranom priebehu – napríklad pri prístroji LeCroy. Prístroje Sefram a LeCroy majú veľa matematických funkcií už integrovaných, navyše disponujú dostatočne veľkou pamäťou pre záznam veľkého množstva dát. V prípade prístroja Sefram má vnútorná pamäť kapacitu 32MB a navyše 8GBovi pevný disk, takže je možné spracovanie signálu aj bez použitia počítača.

6 Charakteristika programu PRYM

Program PRYM je určený pre prenosný rýchly monitor PRYM a slúži na spúšťanie a zadávanie meracích úloh, ako aj na archiváciu a vyhodnotenie nameraných dát. Program má jednoduché menu, ktoré je rozdelené na tri základné časti:

- OVLÁDÁNÍ
- VYHODNOCENÍ
- OSTATNÍ

Ovládanie prístroja PRYM

Pred začatím merania je potrebné zadať meranú úlohu prostredníctvom menu ovládania, ktoré prebieha v týchto krokoch :

1. Zadávajú sa základné informácie o meraní – názov merania, meno merajúcej osoby, poznámka, požadovaný počet meraných javov. Takisto je nutné zvoliť, či sa budú merať výpadky napájacieho napätia.
2. Je potrebné vyplniť údaje týkajúce sa parametrov merania. Nastavujú sa: veľkosť pamäte pre ukladanie dát, vstupy, na ktorých má prebiehať meranie, menovité hodnoty týchto vstupov, primárne napätie pre prepočet, spustenie a ukončenia merania, počet vzoriek po výskyte udalosti a delič vzorkovacej frekvencie.
3. Určí sa počet meraných javov (1-4). Zvolí sa, či parametre javov 2, 3 a 4 budú zhodné s už nastavenými parametrami prvého javu, alebo sa parametre nastavia pre každý jav zvlášť.
4. Výberom „Spustiť“ sa nahrá editovaná úloha do monitoru PRYM a ten po nahraní spustí meranie.

Namerané dáta je možné z monitoru PRYM nahráť do počítača cez menu „Stážení dat“. Údaje sa ukladajú v počítači vo formáte *.DAT. V prípade, že ešte neboli zaznamenané všetky požadované javy, meranie sa sťahovaním dát ukončí. Pre pokračovanie merania je nutné prístroj znovu naprogramovať a celé meranie spustiť od začiatku.

V tomto menu sa tiež nachádza funkcia „Zkušební měření“, ktoré vykonáva programové odmeranie daného počtu periód. PRYM maximálnou vzorkovacou frekvenciou 144 vzoriek/20 ms spustí okamžité meranie a po odmeraní sa údaje automaticky stiahnu do počítača a vyhodnotia. Z týchto nameraných údajov sa zobrazia grafické priebehy s vyznačenými menovitými hodnotami. Program spočíta parametre nameraného signálu a zobrazí ich v tabuľke pod grafom. V tejto tabuľke sú zobrazované nasledujúce veličiny:

- efektívna hodnota priebehu z daného počtu periód,
- maximálna hodnota kladnej polvlny zo všetkých vzoriek,
- maximálna hodnota zápornej polvlny zo všetkých vzoriek,
- stredná hodnota všetkých vzoriek,
- perióda,
- frekvencia,
- časový posun,
- fázový posun.

Vyhodnotenie nameraných dát

Pred samotným vyhodnotením nameraných údajov je potrebné najskôr načítať už stiahnuté dáta. K vyhodnoteniu je možné načítať vždy len jeden súbor dát. Po načítaní dát je možné ich graficky vyhodnotiť. V menu „Graf“ sa zvolí veličina a jav, ktoré majú byť zobrazené. Program umožňuje meniť mierku zvislej osi, ako aj posun vodorovnej osi. Jednotlivé priebehy je možné priamo v grafe označiť popisom. Pri pohybe kurzorom myši v priestore grafu sa hodnoty odpovedajúce polohe kurzora zobrazia pod grafom. Do grafu je možné vložiť druhý kurzor, čo umožňuje odpočítavať hodnoty prvého a druhého kurzora. Pod grafom sa zobrazí rozdiel vodorovných kurzorov (1 a 2) a časový posun zvislých kurzorov. Toto menu umožňuje aj ďalšie nastavenie grafu, ako napríklad vloženie rastra do grafu, zobrazenie viacerých zvislých os (v prípade ak je v grafe zobrazených viac veličín).

Ďalšou položkou v menu vyhodnocení je položka „Výpadky“, ktorá umožňuje zobrazenie posledných maximálne 20 výpadkov napájania. Jednotlivé výpadky sú označené časom začiatku a časom konca výpadku. Začiatok, koniec aj doba trvania výpadku sú zobrazované v tabuľke.

7 Charakteristika programu DEN

Keďže detektor napät'ových impulzov nemá žiadne ovládacie prvky, jeho ovládanie prebieha prostredníctvom počítača a sériovej komunikácie RS232C. Ovládanie prístroja zabezpečuje cez spomínanú komunikáciu program DEN. Menu programu sa delí na 3 časti:

- OVLÁDÁNÍ
- VYHODNOCENÍ
- SERVIS

Ovládanie prístroja DEN

Podobne ako prístroj PRYM aj detektor DEN je potrebné pred začatím merania naprogramovať. Prístroj je možné pripojiť k meranému obvodu až po naprogramovaní a spustení merania, nakoľko sú zdierky pre pripojenie meracích káblov chránené bezpečnostnou prepážkou, ktorú je možné odkryť až po rozpojení komunikácie. Meraná úloha sa naprogramuje cez menu Ovládání/Programové měření. Tu sa nastaví parametre úlohy, ako sú počet meraných fáz, napät'ová hladina vstupov a minimálna veľkosť impulzov, ktoré sa majú zaznamenať. Taktiež je možné zvoliť zaznamenávanie výpadkov napájania prístroja a vybrať jeden z troch režimov merania:

- A Meranie maximálnej hodnoty impulzu
- B Meranie maximálnej hodnoty impulzu a počtu intervalov v sekunde
- C Meranie maximálnej hodnoty impulzu s prekrytím mŕtvej doby merania.

Po zadaní týchto parametrov a stlačením tlačidla Programovať dôjde k nahraniu úlohy do prístroja DEN a ten začne meranie – po odpojení konektora sériovej komunikácie z prístroja a pripojení meracích káblov a meraného obvodu.

Vyhodnotenie nameraných údajov

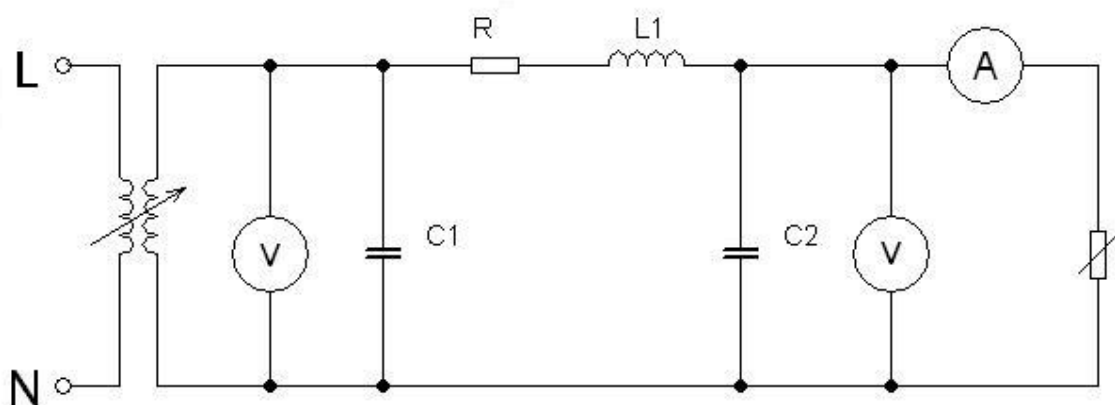
Po skončení merania je potrebné namerané dáta preniesť z prístroja do počítača. Prenos je možný po pripojení komunikačného kábla cez menu Ovládání/Programové měření tlačidlom DATA. Namerané údaje sú ukladané vo formáte .DAT. Pre vyhodnotenie týchto údajov je potrebné tieto súbory načítať cez menu Vyhodnocení/Textový výpis. Po výbere súboru požadovaných dát sa zobrazí tabuľka s údajmi. V hlavičke sú informácie o tom, ktoré veličiny boli merané a v akom časovom období. V samotnej tabuľke sú zobrazené namerané napät'ové impulzy, ako aj ich počet v jednej sekunde, ak bol pred samotným meraním prístroj nastavený na režim B. Pre vyhodnotenie výpadkov napájacieho napätia je možné zvoliť druhú tabuľku v tom istom okne, ktorá zobrazuje zaznamenané výpadky zoradené podľa dátumu a času, pričom zaznamenaný je aj koniec výpadku.

8 Laboratórna úloha – meranie prechodných javov

Zadanie úlohy

1. Na jednofázovom modeli vedenia zapojeného naprázdno odmerajte prenosným rýchlym monitorom PRYM priebeh prechodného javu na začiatku a na konci vedenia. Merajte jav, ktorý vznikne pripojením napájacieho napätia na vedenie, odpojením záťaže.
2. Zopakujte meranie z bodu 1 na vedení s pripojenou záťažou.
3. Stanovte dobu trvania prechodného javu, fázový posun medzi vstupným a výstupným napätím, vypočítajte prúdy na začiatku a na konci vedenia.
4. Zhodnoťte namerané údaje.

Schéma zapojenia



Parametre modelu

3 x 220 / 127 kV, $l = 300$ km,

$R_k = 0,3 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$, $X_k = 0,5 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$, $B_k = 3 \cdot 10^{-6} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$

Obvykle sa volí mierka: $m_U = 10^{-3}$, $m_I = 10^{-3}$, $m_Z = 1$

Jedná sa o jednofázový model.

Použité prístroje:

Nastaviteľný zdroj AC 0- 230V

Model vedenia VN

Multimeter Mastech MY-68 – 3x

Nastaviteľný rezistor 0- 500 Ω

Postup merania

1 Prístroj PRYM pripojte k počítaču a pomocou ovládacieho programu nastavte parametre merania.

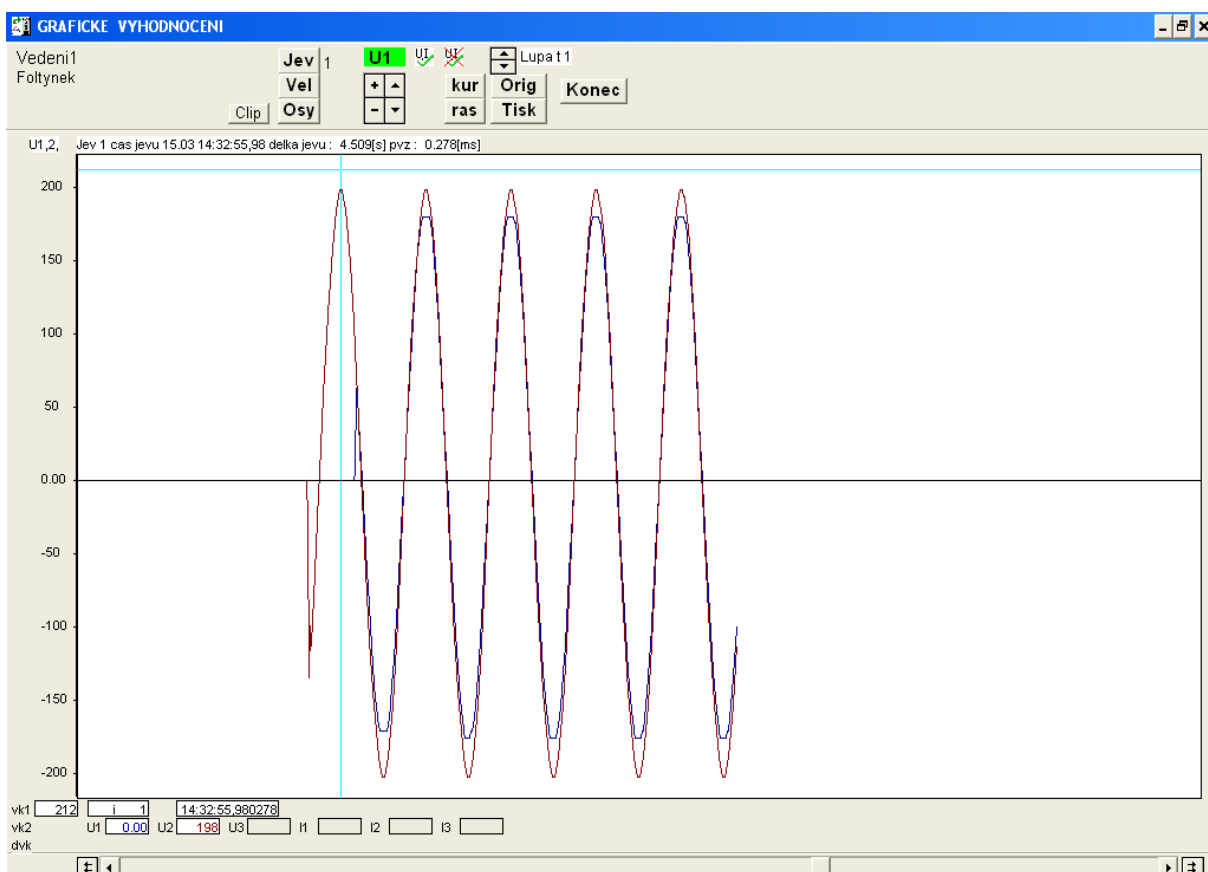
- Nastavte počet meraných javov (pre lepšie vyhodnotenie merania nastavte minimálne 2)
- Ako štart merania nastavte možnosť: okamžité a koniec merania: medze
- Zvoľte počet meraných vstupov (U1, U2) a ich rozsah nastavte na 230V
- Medze pre ukončenie merania nastavte na 60%
- Nahrajte nastavenie merania do PRYMu stlačením tlačidla štart

2 Obvod zapojte podľa schémy, monitor PRYM začne automaticky merať po pripojení napájania.

3 Nastavte hodnotu napájacieho napätia modelu vedenia na 127V.

4. Po odmeraní zadanych úloh pripojte monitor PRYM k počítaču, namerané dáta stiahnite a vyhodnoťte.

Pripojenie napájania bez zát'aže:



Po pripojení napájania:

Napätie na začiatku vedenia: $U_{1\max}=0V$

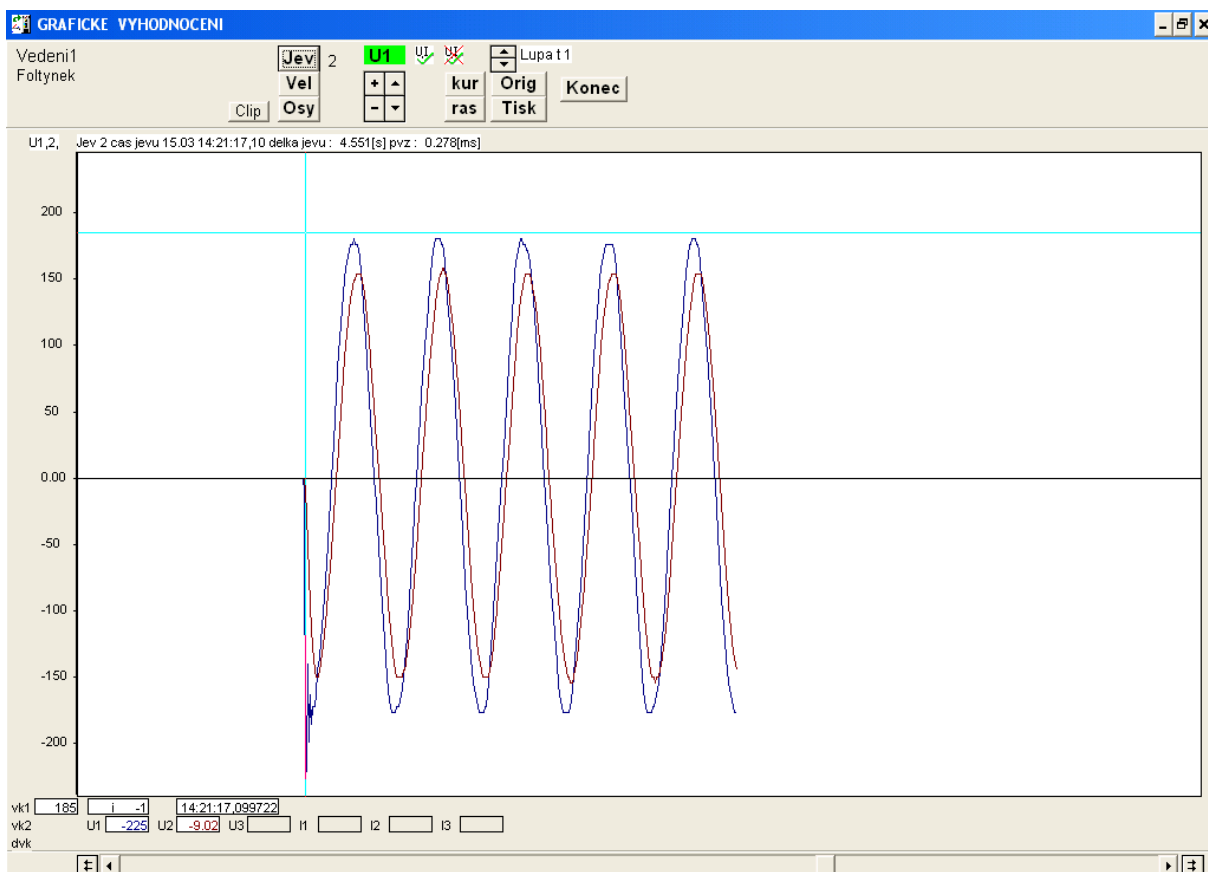
Napätie na konci vedenia: $U_{2\max}=198V$

Po ustálení:

$$U_{1\max} = 180\text{V}$$

$$U_{2\max} = 198\text{V}$$

Pripojenie napájania so záťažou:



$$U_{1\max} = 225\text{V}$$

$$Z = 25\Omega$$

$$I_Z = 0,33\text{A}$$

Po ustálení:

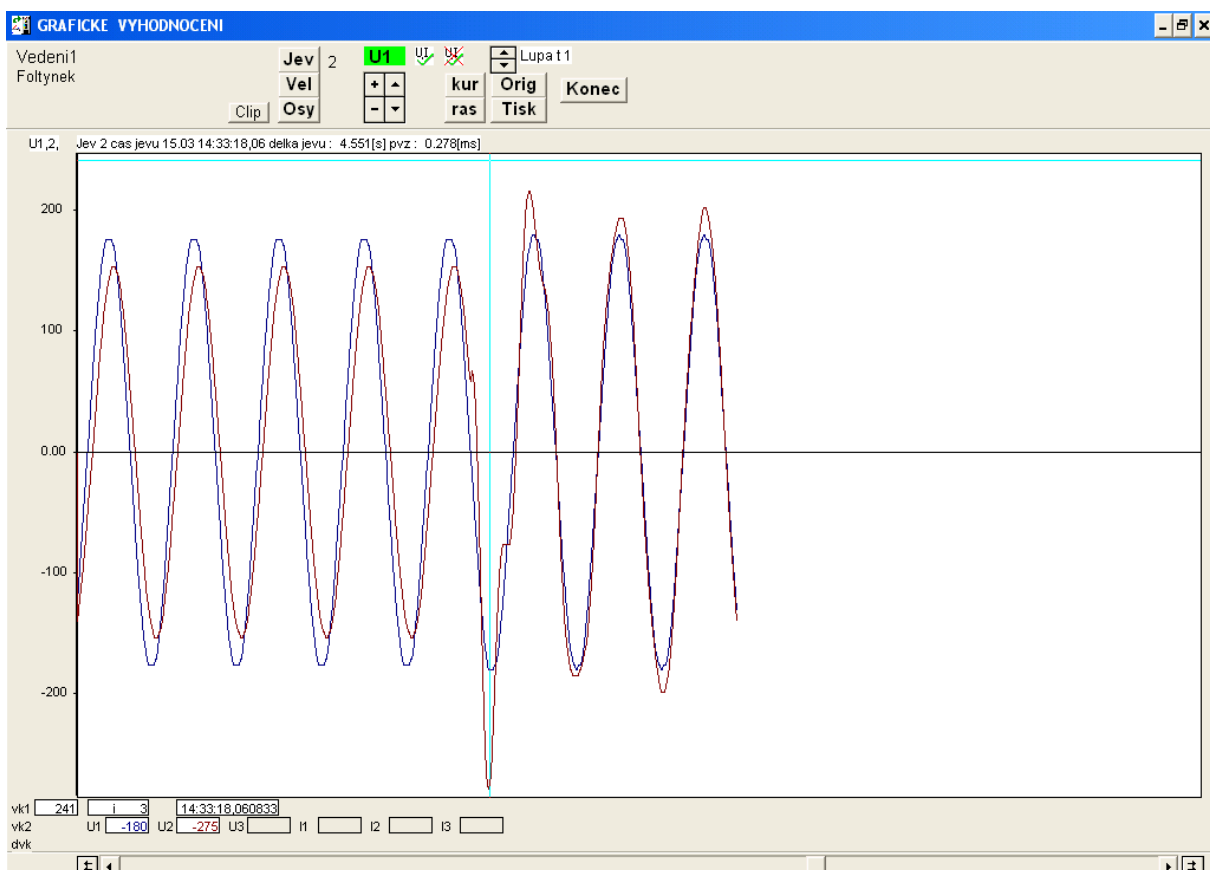
$$U_{1\max} = 176\text{V}$$

$$U_{2\max} = 149\text{V}$$

$$T1 = 17,145833\text{s}$$

$$T2 = 17,146944\text{s}$$

Odpojenie zát'aže:



$$Z=110\Omega$$

$$I_Z=1A$$

Pred odpojením zát'aže:

$$U_{1\max}=176V$$

$$U_{2\max}=153V$$

Po odpojení zát'aže:

$$U_{1\max}=180V$$

$$U_{2\max}=280V$$

Po ustálení:

$$U_{1\max}=180V$$

$$U_{2\max}=203V$$

Časový posun U_1 a U_2 odčítaný z grafu programu PRYM:

$$\Delta t=1,11ms \rightarrow \Delta\varphi=(0,00111/0,02)\cdot 360=19,98^\circ$$

$$U_{1\max}=176\cdot(\sin(19,98^\circ)+j\cdot\cos(19,98^\circ))=(60,2+j\cdot 165,4)V$$

Výpočet

Podľa Blondelových rovníc:

$$U_1 = A.U_2 + B.I_2$$

$$I_1 = C.U_2 + D.I_2$$

Upravíme na:

$$I_2 = \frac{U_1 - A.U_2}{B}$$

$$I_1 = C.U_2 + D.\frac{U_1 - A.U_2}{B}$$

Konštanty A,B,C,D vypočítame pre π článok ako:

$$A = 1 + \frac{Z.Y}{2} [-]$$

$$B = Z[\Omega]$$

$$C = Y + \frac{Z.Y^2}{4} [S]$$

$$D = A = 1 + \frac{Z.Y}{2} [-]$$

$$Z = l.Z_k = l.(R_k + jX_k)\Omega$$

$$Y = l.Y_k = l.(G_k + jB_k)S$$

Po dosadení:

$$Z = l.Z_k = l.(R_k + jX_k) = 300.(0,3 + j0,5) = (90 + j150)\Omega$$

$$Y = l.Y_k = l.(G_k + jB_k) = 300.j3.10^{-6} = 9.10^{-4} S$$

$$A = 1 + \frac{Z.Y}{2} = 1 + \frac{(90 + j150).j0,0009}{2} = 1 + \frac{-0,135 + j0,081}{2} = 0,9325 + j0,0405$$

$$B = Z = (90 + j150)\Omega$$

$$\begin{aligned} C &= Y + \frac{Z.Y^2}{4} = j0,0009 + \frac{(90 + j150).(j0,0009)^2}{4} = j0,0009 + \frac{-(90 + j150).8,1.10^{-7}}{4} = \\ &= j0,0009 + \frac{-(7,29.10^{-5} + j1,215.10^{-4})}{4} = (-1,8225.10^{-5} - j8,69625.10^{-4})S \end{aligned}$$

$$D = A = 0,9325 + j0,0405$$

$$I_2 = \frac{U_1 - A.U_2}{B} = \frac{\frac{(60,2 + j.165,4)}{\sqrt{2}} - (0,9325 + j0,0405) \cdot \frac{149}{\sqrt{2}}}{90 + j150} = (0,38 + j0,617)A = 0,7248A$$

$$I_1 = C.U_2 + D \cdot \frac{U_1 - A.U_2}{B} =$$

$$= (-1,823 \cdot 10^{-5} - j8,696 \cdot 10^{-4}) \cdot \frac{(60,2 + j.165,4)}{\sqrt{2}} + (0,9325 + j0,0405) \cdot (0,38 + j0,617) =$$

$$= (0,3277 + j0,6847)A = 0,7592A$$

Prúd na začiatku vedenia: $I_1=0,7592A$

Prúd na konci vedenia: $I_2=0,7248A$

Záver

Prístroj PRYM bol naprogramovaný a zapojený do obvodu podľa schémy. Následne bol pripojením, resp. odpojením napájacieho napätia vyvolaný prechodný jav v obvode. Tento jav bol prístrojom zaznamenaný, čo bolo potvrdené zvukovým signálom. K vyvolaniu prechodného javu došlo taktiež pripojením/odpojením záťaže. Namerané dáta boli stiahnuté do počítača a analyzované programom PRYM, ktorého výstupom sú grafické závislosti priebehov meraných veličín - v tomto prípade napätie na začiatku a na konci vedenia. Z grafu bola odčítaná maximálna hodnota prepätia 198V, čo je približne 156% hodnoty ustáleného napätia. Na základe parametrov modelu vedenia boli vypočítané prúdy na začiatku a na konci vedenia s pomocou Blondelových rovníc, a to $I_1=0,7592A$ a $I_2=0,7248A$. Časový posun U_1 a U_2 pri záťaži $Z=110\Omega$ bolo na základe grafickej závislosti vypočítané na hodnotu $\Delta\varphi=19,98^\circ$.

Záver

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť laboratórnu úlohu na meranie prechodných javov. V teoretickej časti sú popísané prechodné javy a možnosti ich merania, za týmto účelom boli vyhľadané niektoré prístroje umožňujúce meranie prechodných javov. Predovšetkým prístroje PRYM a DEN, ktoré má škola k dispozícii a ktoré momentálne nie sú využívané pre žiadnu inú laboratórnu úlohu.. V praktickej časti bolo potrebné navrhnuť vhodné zapojenie laboratórnej úlohy. V praxi prechodné javy vznikajú často práve na vedení VN, a to hlavne pri skratoch. Nakoľko VŠB disponuje modelom vedenia VN, rozhodol som sa aplikovať laboratórnu úlohu práve na tento model. Meranie prechodného javu na tomto modeli vyvolaného skratom nebolo možné, nakoľko skratovaním modelu hrozilo jeho poškodenie. Z tohto dôvodu som pri meraní laboratórnej úlohy meral javy vzniknuté po zapnutí/vypnutí napájania, resp. pripojení a odpojení záťaže na konci vedenia. Aj keď v teoretickej časti je zahrnutý aj detektor napäťových impulzov DEN, zo samotnej laboratórnej úlohy bol odstránený. Výstupné dáta prístroja DEN sú vo formáte tabuľky s uvedeným časom kedy došlo k napäťovému impulzu a hodnoty napätia. Pri meraní laboratórnej úlohy s použitím tohto prístroja mali namerané dáta malú výpovednú hodnotu, nakoľko boli zaznamenané hodnoty napäťových impulzov takmer totožné, či už pri zapnutí, alebo vypnutí napájania, resp. záťaže. Dokonca aj pri zmene hodnoty napájacieho napätia bola hodnota napäťového impulzu takmer rovnaká. Cieľom laboratórnej úlohy je zobrazenie prechodného javu na zložitejšom modeli, precvičenie si výpočtov s Blondelovými rovnicami a oboznámenie sa s prístrojom PRYM.

Zoznam literatúry

- [1] KRIVOŠÍK, Pavol. *Prechodné javy v elektrických obvodoch* [online]. Bratislava: STUBA, 27. Apríl 2005, [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: http://iris.elf.stuba.sk/~elo/Elektricke_obvody/EO_II_testpages/documents_pdf/PrechJavy_A.pdf
- [2] KIJONKA, Jaromír. *Teorie obvodu II*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1489-6 (CD-R).
- [3] DŽMURA, Jaroslav. *Úvod do stability prenosu elektrickej energie* [online]. Košice: Technická univerzita, 2012, [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: http://people.tuke.sk/jaroslav.dzmura/files/uvod_do_spee.pdf
- [4] KRIŠTOF, V., S. KUŠNÍR, D. HLUBEŇ a M. KOLCUN. *Elektroenergetika: Modelovanie prechodných javov v PSLF* [online]. Košice: Technická univerzita, ©2010, [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <http://people.tuke.sk/dusan.medved/VEGA/clanky/Kristof2.pdf>
- [5] GURECKÝ, Jiří. *Elektroenergetika: návody do cvičení*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7078-758-9.
- [6] BERKERS, B. *Hall generators*. Switzerland: Paul Scherrer Institute, [cit. 2012-12-02]. Dostupné z: <http://asacusa.web.cern.ch/ASACUSA/spectroscopy/pbHe/hall-generators.pdf>
- [7] ĎAĎO, Stanislav a Miloš SEDLÁČEK. *Měření aktivních elektrických veličin s neharmonickými průběhy*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [8] EGÚ, Brno a. s. Měřicí přístroje, měření a diagnostika: DEN – Detektor napěťových impulzů [online]. Brno: 2009, [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.egubrno.cz/sekce/s005/pristroje/den.html>
- [9] EGÚ, Brno a. s. Měřicí přístroje, měření a diagnostika: PRYM – Prenosný rýchly monitor [online]. Brno: 2009, [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.egubrno.cz/sekce/s005/pristroje/prym.html>
- [10] TR INSTRUMENTS, spol. s r. o. Zapisovač Sefram DAS 40/DAS 20 [online]. Brno, [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: <http://www.trinstruments.cz/zapisovac-das40>

- [11] BLUE PANTHER INSTRUMENTS. 12 bitové osciloskopy Teledyne LeCroy HDO4000 [online]. Praha: ©2008, [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.blue-panther.cz/12bitove-osciloskopy-teledyne-lecroy-hdo4000>
- [12] NATIONAL INSTRUMENTS. NI PXI-6123 [online]. Austin: ©2012, [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/14650>
- [13] NATIONAL INSTRUMENTS. NI SCXI-1125 [online]. Austin: ©2012, [cit. 2013-03-10]. Dostupné z <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/3669>
- [14] TEDIA. PCA-7428CL, PCA-7428CS [online]. Plzeň: ©1994-2013, [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.tedia.cz/produkty/pca7428c.html>
- [15] TEDIA. PCA-7208AL/AS, PCA-7408AL/AS [online]. Plzeň: ©1994-2013, [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.tedia.cz/produkty/pca7208a.html>
- [16] KRÁL, Vladimír. *Přechodové jevy* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2008, [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/f_studium.htm